

H14/B01 RF集積回路における磁性薄膜応用技術の研究(共同プロジェクト研究)

雑誌名	東北大学電気通信研究所研究活動報告
巻	9
ページ	189-191
発行年	2003-07
URL	http://hdl.handle.net/10097/30369

課題番号 H14/B01

RF集積回路における磁性薄膜応用技術の研究

[1] 組織

代表者：山口正洋（東北大学電気通信研究所）

責任者：荒井賢一（東北大学電気通信研究所）

分担者：

阿部正紀（東京工業大学電子物理工学科）

長田 洋（岩手大学工学部）

川人祥二（静岡大学電子工学研究所）

早乙女英夫（千葉大学工学部）

佐藤敏郎（信州大学工学部）

島田 寛（東北大学科学計測研究所）

杉山 進（立命館大学理工学部）

丹 健二（秋田県高度技術研究所）

辻本浩章（大阪市立大学工学部）

中野正基（長崎大学工学部）

中谷亮一（大阪大学大学院工学研究科）

藤井達生（岡山大学工学部）

本田 崇（九州工業大学工学部）

宗像 誠（崇城大学エネルギーエレクトロニクス研究所）

山本節夫（山口大学工学部）

研究費：公費 5 万円，旅費 76 万 7 千円

[2] 研究経過

IT技術の進展に伴い，高周波帯における軟磁性薄膜の応用の可能性が議論されはじめています。本研究は，800MHz～6GHz程度の周波数帯でRF集積化インダクタを小形化・高性能（高Q）化させること，高透磁率に基づく波長短縮効果により伝送線路を短縮させること，ならびに磁気共鳴損失によって電磁雑音エネルギーを吸収させることなどを開発課題とし，真に集積回路技術の進展に役立つ指針の確立と，定量的な技術限界の議論を行うとともに，萌芽的研究課題の探索を行うことも目的とした。以下に概要を記す。

(a) 研究活動

2003年3月には東工大益一哉教授が来訪しSi RF集積回路におけるインダクティブ素子全般に関する議論と情報交換を行った。長崎大中野正基助手らも同時期に来訪し，永久磁石薄膜の最新開発状況について意見交換を行った。

(b) 研究会活動

本年度は2002年7月29～30日にプロジェクト分担者間で閉じた研究会を行い，RF帯における磁性薄膜の開発と応用について，confidential baseで議論を行った。発表者と題目は以下の通りである。

01-1-1 アミューズメント用磁気マイクロマシン，本田 崇（九工大）

01-1-2 低温で製造したフェライトの高周波デバイスへの応用，松下伸弘（東工大）

01-1-3 プラズマを活用してのフェライト薄膜の低温製造技術，山本節夫，栗巢普揮，松浦 満（山口大学工学部）

01-1-4 直接通電による微細磁性薄膜の高周波透磁率計測，藪上 信（東北大）

01-1-5 錯体重合法によるY型六方晶フェライト薄膜の作製，藤井達生（岡山大）

01-1-6 GHz帯キャリアを用いた高周波キャリア型薄膜磁界センサ，丹 健二（秋田県高度技術研究所）

01-1-7 磁気抵抗効果膜を用いた磁性薄膜機能素子とその応用，辻本浩章（大阪市立大）

01-1-8 フェライト膜の低温形成と高周波透磁率，松下伸弘（東工大）

01-1-9 感温磁性体薄膜の温度特性制御に関して，長田 洋（岩手大）

01-1-10 GHz帯における軟磁性薄膜応用（インダクタ，線路，ノイズ対策），山口正洋（東北大）

01-1-11 PLD法を用い作製したNdFeB系厚膜磁石の磁気特性，中野正基（長崎大）

01-1-12 (CoFeB)-(SiO₂)系軟磁性薄膜の高異方性磁界と高周波透磁率特性，宗像 誠（宗城大）

また2003年1月14日には日本学術振興会日韓科学協力事業を推進する研究者らと合同でSendai Joint Research Symposium under The Japan-Korea Basic Scientific Cooperation Programを開催した。これはRF帯用磁性薄膜の開発と応用分野の開拓とは，韓国においても強い興味を持たれている状況に鑑み実施したものである。

1. Magneto-optic Spatial Light Modulators, Jaehyuk Park (Toyohashi University of Technology), Jaekyong Cho (Gyeongsang National University), Hironaga Uchida, Kazuhiro Nishimura (Toyohashi University of Technology), Mitsuteru Inoue (TUT and JST-CREST)

2. On the Fabrication of Magnetostrictive Composites, Sang-Ho Lim (KIST)
3. Soft magnetic properties of Fe-X-N nanocrystalline thin films, J. Kim, I. Kim, H. J. Jeon, S. K. Han (Hanyang University)
4. Magnetic garnet films for thermal pixellation, Jaekyong Cho (Gyeongsang National University)
5. Micro Magnetic Sensors Using Amorphous Materials, Geon Sa-Gong (Dong-A University), Kwang-Ho Shin (Kyungshung University)
6. Microwave Absorber Used for Mobile Telecommunication Frequency Band, Sungsoo Kim (Chungbuk University)
7. Trial application of spin-sprayed ferrite films for RF noise suppressors over an on-wafer coplanar transmission line, Ki Hyeon Kim, Masahiro Yamaguchi, Ken-Ichi Arai (Tohoku University), Nobuhiro Matsushita, Masanori Abe (Tokyo Institute of Technology)

[3] 成 果

(3-1) 研究成果

RF帯軟磁性薄膜の開発について以下の成果が得られた。まず、東工大の阿部・松下らはスピンスプレー法によるフェライト薄膜によって、(a) $0 < f \leq 200 \text{ MHz}$ で $\mu' = 40, \mu'' = 0$ (コア材料に適す), (b) $0.5 \text{ GHz} < f \leq 3 \text{ GHz}$ で $\mu'' > 20$ (電波吸収体に適す) という応用上極めて有用なNiZnフェライト膜の作製に成功した。さらに膜堆積速度を 70 nm/min (従来の4倍) に高める条件をも見出した。これらのデータ測定は、高周波初透磁率を高精度で測定できる治具を開発したために得られたものである。これらの膜の保磁力は数10 Oeの高い値を示し、従来はこのような高保磁力材料では、初透磁率が50以上に高いことはほとんど無かった。この高い初透磁率の原因については、現在検討中である。

次に、山口大の山本らはスパッタ法、ECRスパッタ法によるフェライト薄膜、ならびに放電プラズマ焼結法によるバルクフェライト材料を作製している。とくにECRスパッタ法では 200 nm/min の高速レートが得られており、今後、フェライト膜高速製膜装置への展開が期待される。長崎大の中野ら、並びに岡山大の藤井らもフェライト薄膜の開発を進めている。

東北大の島田らはNiFeと B_2O_3 の共蒸着によって、NiFeナノコラムを形成させ、強い形状磁気異方性によって強磁性共鳴周波数の高い軟磁性薄膜が開発できることを示した。周期的にNiFe層を膜厚方向に分断することによって、共鳴周波数を制御で

きることも大きな特徴である。

崇城大の宗像らは、独自のカルーセル型二元同時RFスパッタ装置によって、200 Oe以上の高異方性磁界を持つ軟磁性薄膜の開発に成功した。これは、円筒電極の回転方向に強い異方性が誘導されて実現されたものである。代表例として、ヘテロアモルファス構造の $(\text{Co}_{35.6}\text{Fe}_{50}\text{B}_{14.4})_{0.74}-(\text{SiO}_{1.9})_{0.26}$ 膜では異方性磁界 $H_k=400 \text{ Oe}$ 、飽和磁化 10.6 kG 、抵抗率 $\rho=107,000 \mu\Omega\text{cm}$ が得られ、その強磁性共鳴周波数は $f=5.8 \text{ GHz}$ に及ぶ。

東北大の山口らは、以上のRF帯磁性薄膜の高周波複素透磁率を9GHzまで測定可能な新装置を開発し、2003年9月には実用化に成功した。これはRF磁界発生源として側面開放型TEMセルを用い、透磁率信号の検出にはインピーダンス整合を $50 \Omega \pm 1 \Omega$ まで改良した平面型シールドループコイルを採用した結果実現できたものである。

また東北大の薮上らは、透磁率測定感度を1桁以上向上しうる新方法として導電性磁性薄膜中に直接RF電流を通電し、その表皮効果に基づくインピーダンス変化から複素透磁率を求めることを提案した。その結果は従来からの一様磁界中における透磁率測定の結果とほぼ一致し、今後有望な測定方法であることが明らかになった。

以上の薄膜開発状況を踏まえ、RF集積回路への応用は0.8-6GHz帯がターゲットとなっている。まず東北大の山口らは、RF集積化磁性薄膜インダクタの解析に不可欠な等価回路の構造を提案し、これに基づいて、Sパラメータの実測値をもとに空心ならびに磁性膜付きインダクタの等価回路パラメータ分離を行った。空心については、東工大の益らと比較検証を行い、両者が一致することが確かめられた。

一方、信州大の佐藤らは、伝送線路に磁性膜・誘電体をハイブリッド実装し、透磁率の寄与により最大12.5%まで波長短縮効果が得られることを実証した。ここでは低損失化が課題である。

そこで東北大の山口・島田ならびに東工大の阿部・松下らは逆に磁性膜の損失を利用し、伝送線路に磁性膜を装着することによってGHz帯の電磁ノイズ成分のみを除去させるような集積化電磁雑音対策素子を提案した。例えばマイクロストリップライン上に直接NiZnフェライト膜(厚さ3 μm)を堆積して測定したところ、5GHzで65%の吸収を得ることができ、反射損失も無視できたので、有用性が明らかになった。

東北大の山口らは、RF回路に磁気デバイスが集積化された場合の電磁障害を計測するため、薄膜によるシールドループ型磁界プローブを開発

した。その帯域は3GHzで、空間分解能は90mmに及び、デバイス評価上有用なセンサであることが明らかになった。

九工大の本田らは磁気マイクロマシンのアミューズメント分野への応用を提案した。これは、先行するペットロボットに比べて桁違いに安価で充電不要な構造とすることを目的としている。いくつかの試作のなかで、卵型の体型と遊泳肢として発達した太く短い後肢を持つ遊泳型磁気マイクロマシン（ゲンゴロウ型）はパドリング機構を考察する段階に至り、今後情報通信機能の集積化への展開に興味を持たれる。

(3-2) 波及効果と発展性

RF帯域における軟磁性薄膜の応用は、従来のアイソレータ・サーキュレータへの応用と異なり、テンソル透磁率の対角項を利用する点が新しく、世界的な関心を呼んでいる。[2] (a)で述べたSendai Joint Research Symposium under The Japan-Korea Basic Scientific Cooperation Programに加えて、本共同プロジェクト研究会研究分担者らの活動を機軸に国際シンポジウムInternational Symposium on High Frequency Micromagnetic Devices and Materialsが創設された。第1回は2002年5月3日にデルフト工科大学（オランダ）において、6カ国から11件の発表があった。第2回は2003年4月4日にボストン大学（アメリカ合衆国）において開催され、7カ国から14件が発表された。いずれも本共同プロジェクト研究会代表者がGeneral Chairmanを務めた。詳細は下記を参照して頂きたい。

<http://www.arai.riec.tohoku.ac.jp/yamaguti/delftworkshop/>

http://www.arai.riec.tohoku.ac.jp/boston_symposium/

今後も2004年にはロサンゼルス（アメリカ合衆国）、2005年には仙台で同シンポジウムが開催される見込みである。

以上の活動を通して、学内外の研究者との連携が強まり、成果資料に記すような実質的共同研究の成果が出ている。今後は、半導体研究者との連携をいっそう強めることによって、真にIT産業に寄与しうる新規なデバイス創生が期待される。

[4] 成果資料

- (1) "High-Rate Low-Temperature (90°C) Deposition of Ni-Zn Ferrite Films Highly Permeable in Gigahertz Range," N. Matsushita, C. P. Chong, T. Mizutani and M. Abe, IEEE Trans. Magn., vol. 38, pp. 3156-3158, 2002.
- (2) "Permeability in PLD-made Mn-Zn ferrite thin films by low-temperature process", M. Nakano, M.

Akase, H. Fukunaga, Y. Matsuo, S. Yabukami, M. Yamaguchi, I. K. Arai, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 242-245, pp. 157-159, 2002.

- (3) "Very High Electrical Resistivity and Heteroamorphous Structure of Soft Magnetic (Co_{35.6}Fe₅₀B_{14.4})-(SiO₂) Thin Films," M. Munakata, M. Motoyama, M. Yagi, A. Ito, Y. Shimada, M. Yamaguchi and K. I. Arai, IEEE Trans. Magn., vol. 38, 3147-3149, 2002.
- (4) "Cross measurements of thin-film permeability up to UHF range," M. Yamaguchi, O. Acher, Y. Miyazawa, K.I. Arai and M.Ledieu, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 242-245, pp. 970-972, 2002.
- (5) "Highly sensitive permeability measurements obtained by electrical impedance," S. Yabukami, R. Ojima, M. Yamaguchi, K.I. Arai and S. Kikuchi, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 254-255, 2002, 111-114.
- (6) "Equivalent circuit analysis of RF integrated inductors with/without ferromagnetic material," M. Yamaguchi, Y. Yokoyama, S. Ikeda, T. Kuribara, K. Masu and Ken-Ichi Arai, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 42, Part I, 2210-2213, 2003.
- (7) "ゲンゴロウ型磁気マイクロマシンの派度リング機構", 中川照章, 本田崇, 山崎二郎, 日本応用磁気学会誌, vol. 27, pp. 504-508, 2003.
- (8) "磁気酵素センサの構成と応答特性の論理回路的表現, 長田洋, 谷地善光, 伊藤清隆, 千葉茂樹, 佐々木圭一, 高橋政雄, 久保田恒夫, 関亨士郎, 日本応用磁気学会誌, vol. 26, pp. 5885-588, 2002.
- (9) "Relation between Power Dissipation and Signal Transmission Characteristics in COZrNb/Polyimide Hybrid Microstrip Line," T. Sato, S. Ikeda, H. Nakayama, K. Takizawa and K. Yamasawa, Trans. Magn. Soc. Japan, vol. 2, pp. 377-383, 2002.
- (10) "マイクロEMC対策用Ni-Fe微粒子軟磁性膜の作製", 伊藤哲夫, 加茂芳邦, 菊地新喜, 島田寛, 日本応用磁気学会誌, vol. 26, pp. 501-504, 2002.
- (11) "Thin-Film RF Noise Suppressor Integrated onto a Transmission Line," M. Yamaguchi, K-H Kim, T. Kuribara, K.I. Arai, IEEE Trans. Magn., vol. 38, pp. 3183-3185, 2002.